

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-253390

(43)Date of publication of application : 10.09.2003

---

(51)Int.Cl.	C22C 38/00
	B21B 1/16
	B21B 3/00
	C21D 8/06
	C21D 9/52
	C22C 38/60

---

(21)Application number : 2002-061332

(71)Applicant : KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 07.03.2002

(72)Inventor : KAKO HIROSHI  
KUDO TAKAHIRO  
SAKAMOTO KOICHI  
SHIKAISO MASATO  
SOMEKAWA MASAMI

---

**(54) WIRE ROD OF LOW-CARBON SULFUR-BASED FREE CUTTING STEEL, AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR****(57)Abstract:****PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a wire rod of a low-carbon sulfur-based free cutting steel, having excellent machinability even when toxic Pb is not added thereto, and to provide a suitable manufacturing method therefor.**SOLUTION:** The wire rod of the low-carbon sulfur-based free cutting steel comprises, by mass%, 0.02-0.15% C, 0.50-2.0% Mn, 0.05-0.20% P, 0.15-0.50% S, 0.01% or less Si, 0.01% or less Al, 0.002-0.02% N, 0.01-0.03% O, and the balance Fe with unavoidable impurities; and is drawn after hot rolling or hot forging, to have, when d (mm) is defined as a diameter of the steel wire, 2.8\* $\log d$  or more of an average width ( $\mu\text{m}$ ) of sulfide-based inclusions in a region from 0.1 mm to d/8 deep from an outer surface, and have the yield ratio of the wire rod of 0.96 or higher.

---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 22.10.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-253390  
(P2003-253390A)

(43) 公開日 平成15年9月10日 (2003.9.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Y 4 E 0 0 2
B 2 1 B 1/16		B 2 1 B 1/16	B 4 K 0 3 2
3/00		3/00	D 4 K 0 4 3
C 2 1 D 8/06		C 2 1 D 8/06	
9/52	1 0 4	9/52	1 0 4
審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全 9 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2002-61332(P2002-61332)

(22) 出願日 平成14年3月7日 (2002.3.7)

(71) 出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区臨浜町二丁目10番26号

(72) 発明者 家口 浩

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 工藤 高裕

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74) 代理人 100101395

弁理士 本田 ▲龍▼雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低炭素硫黄系快削鋼線材およびその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 毒性のあるPbを添加しない場合であっても、優れた被削性を有する低炭素硫黄系快削鋼線材およびその好適な製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明の低炭素硫黄系快削鋼線材は、mass%で、C:0.02~0.15%、Mn:0.50~2.0%、P:0.05~0.20%、S:0.15~0.50%、Si:0.01%以下、Al:0.01%以下、N:0.002~0.02%、O:0.01~0.03%を含み、残部Feおよび不可避免の不純物からなる、熱間圧延あるいは熱間鍛造後に伸線された鋼線材である。そして、鋼線材の直径をd(mm)とすると、外周面から深さ0.1mmよりd/8までの領域での硫化物系介在物の平均幅(μm)が $2.8 * \log d$ 以上であり、線材の降伏比が0.96以上とされる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 mass%で、C：0.02～0.15%、Mn：0.50～2.0%、P：0.05～0.20%、S：0.15～0.50%、Si：0.01%以下、Al：0.01%以下、N：0.002～0.02%、O：0.01～0.03%を含み、残部Feおよび不可避的不純物からなる、熱間圧延あるいは熱間鍛造後に伸線された鋼線材であって、

鋼線材の直径を  $d$  (mm) とするとき、外周面から深さ  $0.1\text{mm}$  より  $d/8$  までの領域での硫化物系介在物の平均幅 ( $\mu\text{m}$ ) が  $2.8 \cdot \log d$  以上であり、線材の降伏比が  $0.96$  以上である、低炭素硫黄系快削鋼線材。

【請求項 2】 mass%で、C：0.02～0.15%、Mn：0.50～2.0%、P：0.05～0.20%、S：0.15～0.50%、Si：0.01%以下、Al：0.01%以下、N：0.002～0.02%、O：0.01～0.03%を含み、残部Feおよび不可避的不純物からなる、熱間圧延あるいは熱間鍛造された鋼線材であって、

鋼線材の直径を  $D$  (mm) とするとき、外周面から深さ  $1\mu\text{m}$  より  $D/8$  までの領域での硫化物系介在物の平均幅 ( $\mu\text{m}$ ) が  $2.8 \cdot \log D$  以上であり、線材の降伏比が  $0.68$  以上である、低炭素硫黄系快削鋼線材。

【請求項 3】 鋼成分として、さらに Bi：0.3%以下、Pb：0.4%以下、Te：0.1%以下、B：0.01%以下の少なくとも 1 種を含有する請求項 1 または請求項 2 に記載した低炭素硫黄系快削鋼線材。

【請求項 4】 請求項 2 あるいは請求項 3 に記載した成分を有する鋼片を  $1000^\circ\text{C}$  以上に加熱し、仕上圧延温度を表面温度で  $700^\circ\text{C}$  以上、 $800^\circ\text{C}$  未満として熱間圧延を行い、熱間圧延した鋼線材をステルモラインで冷却中に、ステルモラインに実質的に載置直後から少なくとも  $500^\circ\text{C}$  までの平均冷却速度  $V$  ( $^\circ\text{C}/\text{s}$ ) を鋼線材の直径を  $D$  (mm) とするとき、下記(1)式を満足する限界冷却速度  $V_{\min}$  以上で風冷する低炭素硫黄系快削鋼線材の製造方法。

$$\log V_{\min} = 1.13 (1 - \log D)$$

【請求項 5】 請求項 4 に記載された製造方法により熱間圧延した鋼線材を得た後、さらに伸線加工を施して降伏比が  $0.96$  以上の鋼線材を製造する低炭素硫黄系快削鋼線材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明が属する技術分野】 本発明は、Pb などの特殊元素を含有しない場合においても、被削性に優れた低炭素硫黄系快削鋼線材およびその製造方法に関する。なお、ここで記載する鋼線材とは、熱間圧延あるいは熱間鍛造した鋼線材だけでなく、その後に伸線（冷間引き抜き）を施した鋼線材も含む。

## 【0002】

【従来の技術】 機械的性質をあまり重視しない部品類で、切削によって多量に製作される主に小物部品であるネジ類、ニップル類などには S を多量に添加した低炭素硫黄系快削鋼が用いられる。さらに優れた被削性を有する快削鋼として、S に加えて Pb を含有する複合快削鋼も広く使用されている。しかし、Pb は健康を害する有害物質であるので、快削鋼中の Pb 使用量の削減が要望されている。Te も使用されることがあるが、毒性があると同時に熱間加工性を阻害するので、低減が求められている。

【0003】 低炭素硫黄系快削鋼の被削性向上の検討は、これまでも多くなされてきた。例えば、特許 1605766 号公報、特許 1907099 号公報、特許 2129869 号公報、特開平 9-157791 号公報、特開平 11-293391 号公報に記載されているように、その多くは硫化物系介在物の数、サイズ、形態の制御に関するものである。また、例えば、特許 1605766 号公報、特許 1907099 号（特公平 4-54736 号）公報、特許 2922105 号公報、特開平 9-71838 号公報、特開平 10-158781 号公報に記載されているように、酸化物系介在物を規定したものも多数ある。一方、介在物以外の組織・特性（マトリックス特性）も被削性に重要な影響を及ぼすが、これらに着目した技術は少なく、例えば、特許 2125814 号（特公平 1-11069 号）公報には圧延方向に連続した縞状パーライト組織を、特許 2740982 号公報には初析フェライト中の固溶 C 量を規定している。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記公報に開示された技術は重要なものであるが、未だ十分な被削性が得られていない。例えば、特許 1907099 号公報に開示の技術においては、鋼中の介在物について、長径  $5\mu\text{m}$  以上、短径  $2\mu\text{m}$  以上、長径／短径比が 5 以下の MnS を全 MnS 系介在物の 50% 以上で、酸化物系介在物中の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の含有率を平均 15% 以下と規定しているが、Pb、Bi および Te の合計量を 0.2% 以上含有することを必須としており、これらの元素の添加なくしては十分な被削性が得られていない。本発明は、かかる問題に鑑みなされたもので、毒性のある Pb や、Bi、Te などの特殊元素を添加しない場合であっても、優れた被削性を有する低炭素硫黄系快削鋼線材およびその好適な製造方法を提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 硫化物系介在物の生成量や分布状態は被削性に影響を及ぼすが、これらは鋼成分や溶解・鑄造条件によってほぼ決定される。本発明は、硫化物系介在物の生成量や分布状態を制御するのではなく、硫化物系介在物の形態のうち、特に被削性を左右する介在物の幅を熱延段階で展伸させることなく、線径に応じて所定サイズ以上に大きく維持することによって、

優れた被削性を得ることに成功したものである。すなわち、本発明の低炭素硫黄系快削鋼線材は、mass%で、  
 C: 0.02~0.15%、Mn: 0.50~2.0%、P: 0.05~0.20%、S: 0.15~0.50%、Si: 0.01%以下、Al: 0.01%以下、N: 0.002~0.02%、O: 0.01~0.03%を含み、あるいはさらにBi: 0.3%以下、Pb: 0.4%以下、Te: 0.1%以下、B: 0.01%以下の少なくとも1種を含有し、残部Feおよび不可避免の不純物からなる、熱間圧延あるいは熱間鍛造後に伸線された鋼線材であって、鋼線材の直径をd(mm)とすると、外周面から深さ0.1mmよりd/8までの領域での硫化物系介在物の平均幅( $\mu\text{m}$ )が $2.8 \cdot \log d$ 以上であり、線材の降伏比が0.96以上とされたものである。

【0006】また、本発明の他の硫黄低炭素系快削鋼線材は、前記成分を有し、熱間圧延あるいは熱間鍛造された鋼線材であって、鋼線材の直径をD(mm)とすると、外周面から深さ1 $\mu\text{m}$ よりD/8までの領域での硫化物系介在物の平均幅( $\mu\text{m}$ )が $2.8 \cdot \log D$ 以上であり、線材の降伏比が0.68以上とされたものである。

【0007】また、本発明の製造方法は、前記成分を有する鋼片を1000℃以上に加熱し、仕上圧延温度を表面温度で700℃以上、800℃未満として熱間圧延を行い、熱間圧延した鋼線材をステルモラインで冷却中に、ステルモラインに実質的に載置直後から少なくとも500℃までの平均冷却速度V(℃/s)を鋼線材の直径をD(mm)とすると、下記(1)式を満足する限界冷却速度V<sub>min</sub>以上で風冷する低炭素硫黄系快削鋼線材の製造方法である。また、本発明の他の製造方法は、前記製造方法により熱間圧延した鋼線材を得た後、さらに伸線加工を施して降伏比が0.96以上の鋼線材を製造する低炭素硫黄系快削鋼線材の製造方法である。

$$\log V_{\min} = 1.13 (1 - \log D)$$

#### 【0008】

【発明の実施の形態】まず、本発明の低炭素硫黄系快削鋼線材の組成(単位mass%)について説明する。

C: 0.02~0.15%

Cは鋼の強度を確保するために添加するが、0.02%未満では強度が不十分であると同時に、靱性・延性が過剰となり被削性も低下する。一方、0.15%を超えると強度が過度に高くなり被削性が却って低下する。このため、Cの下限を0.02%、好ましくは0.04%とし、その上限を0.15%、好ましくは0.12%とする。

【0009】Mn: 0.50~2.0%

Mnは鋼中のSと結合して硫化物を形成し、被削性を向上させる。また、FeS生成による赤熱脆性を抑制する。これらの効果を発揮させるために、下限を0.50%、好ましくは0.75%とする。しかし、2.0%を

超えて添加しても強度が過剰に上昇し、却って被削性が低下するので、上限を2.0%、好ましくは1.8%とする。

【0010】P: 0.05~0.20%

Pは被削性を向上させる効果があり、0.05%以上の添加が有効である。一方、0.20%を超えて添加しても効果は飽和するので、0.20%を上限とする。

【0011】S: 0.15~0.50%

Sは硫化物を形成して被削性を向上させる元素であり、0.15%未満ではかかる効果が過少である。一方、0.50%を超えて添加すると熱間加工性の低下が懸念される。このため、下限を0.15%、好ましくは0.25%とし、一方その上限を0.50%、好ましくは0.45%とする。

【0012】Si: 0.01%以下、Al: 0.01%以下

Si、Alは脱酸材として使用してもよいが、ともに0.01%を超えて添加すると硬質の酸化物が生成し、被削性が極端に低下するようになる。このため、各々0.01%以下に止める。

【0013】N: 0.002~0.02%

Nは被削性、特に表面粗さを改善する効果がある。0.002%未満ではかかる効果が過少である。一方、0.02%を超えて添加しても効果が飽和するだけでなく、熱間加工性が低下する。このため、下限を0.002%、上限を0.02%とする。

【0014】O: 0.01~0.03%

OはMnSのサイズや形態に影響を及ぼし、被削性を向上させる元素である。このためには、0.01%以上必要であるが、0.03%を超えて添加すると、硬質な酸化物が増加して被削性が低下する。このため、上限を0.03%とする。

【0015】本発明の鋼線材は上記成分の他、残部Feおよび不可避免の不純物によって構成されるが、さらに下記の範囲でBi、Pb、Teの一種以上、あるいはさらにBを添加することができる。

【0016】Bi: 0.3%以下

BiはPbと同様の効果により被削性を向上させる元素である。しかし、0.3%を超えて添加しても効果が飽和するので、0.3%以下とする。

【0017】Pb: 0.4%以下

Pbは毒性が有るので使用を避けるべき元素であるが、被削性向上には顕著な効果があるので、添加してもよい。しかし、0.4%を超えて添加しても効果が飽和するので、0.4%以下に止める。

【0018】Te: 0.1%以下

TeはMnSの熱間加工中の展伸を抑制する効果になどにより被削性を顕著に向上させるので添加しても良い。しかし、0.1%を超えても効果が飽和するので、上限を0.1%とする。

【0019】B: 0.01%以下

Bは熱間加工性を改善させる元素であり、添加しても良い。しかし、0.01%を超えると逆に熱間加工性が低下するので、0.01%以下に止める。

【0020】次に、鋼線材の硫化物系介在物の形態について詳細に説明する。MnSなどの硫化物系介在物（以下、単に硫化物と呼ぶ。）の量、分布は組成、溶解・ casting条件によってほぼ決まるが、その形態は casting後の熱間圧延、熱間鍛造の工程で変化する。硫化物の形態が球形であるほど、圧延、鍛造時に展伸しにくく、加工後においても大きな幅の形態を備える。硫化物の幅は、熱間圧延、熱間鍛造された鋼線材あるいはその後に伸線加工した線材においても被削性に大きな影響を与え、一般的には幅が大きいほど被削性は向上する。もっとも、線径によって必要とされる平均幅は異なる。例えば、同じ体積、個数、形態（幅）の硫化物が線材中に存在する場合、線径が小さい方が被削性は良好であり、線径が大きいほど被削性は低下する。ここで形態に着目すれば、線径が大きとも、十分な幅の硫化物とすることによって、被削性を改善することができる。

【0021】硫化物の形態を規定する要素として種々の方法があるが、本発明では平均幅を規定する。平均幅とは、図1に示すように、個々の硫化物の最大長さを長径Lとしたとき、この長径Lに対して垂直方向の幅で最も大きい最大幅Wに対する、観察視野内の全硫化物の平均をいう。平均幅を形態の指標とするのは、測定の信頼性、再現性が最も高いからである。これに対して、硫化物の長径や介在物の面積は、測定による誤差が大きく、信頼できるデータが得られにくい。

【0022】本発明者は、被削性に及ぼす硫化物の平均幅と鋼線材の線径（直径）との関係を調査したところ、後述の実施例から明らかなように、必要となる平均幅は、線材の直径をd（伸線材）あるいはD（熱間圧延線材、熱間鍛造線材）としたとき、 $2.8 \times \log d$ 以上あるいは $2.8 \times \log D$ 以上であることが知見された。硫化物系介在物の最大幅がこれ未満であると被削性、特に表面粗さが低下するようになる。

【0023】硫化物には、MnSに代表されるSを主とした化合物のほか、酸素が固溶される、あるいは酸化物と複合化した硫化物も含まれる。これらも被削性改善において同効だからである。個々の硫化物の最大幅は、100倍の倍率での光学顕微鏡観察結果を画像解析することによって求めるが、観察位置は重要であり、以下の領域を観察する。被削性に最も重要な部分は、図2に示すように、外周表面から深さ0.1mmの位置から深さd/8、あるいはD/8までの領域であるので、この領域を観察する。観察に際しては圧延・鍛造方向と平行な面で、測定領域面積は $6\text{mm}^2$ 以上とする。また、研磨のままで観察すればよく、エッチングを行う必要はない。なお、長径 $1\mu\text{m}$ 未満の介在物は除外して最大幅の測定解

析を行う。これは、長径 $1\mu\text{m}$ 未満の介在物は測定誤差が大きいことと、被削性への影響が小さいためである。

【0024】なお、特許1907099号（特公平4-54736号）公報には、硫化物の規定要素の一つとして短径 $2\mu\text{m}$ 以上と規定されているが、線材の直径の大小に関わらず、同一の規定とすると、線径が大きい場合には硫化物の最大幅も大きくしなないと被削性向上効果が望めない。また、同公報には本発明における重要な要件である後述の降伏比については不問であり、本発明とは別異である。

【0025】硫化物の最大幅の制御には、熱間圧延、熱間鍛造の際の鋼片加熱温度の最適化が必要であり、少なくとも $1000^\circ\text{C}$ 以上とすることが必要であり、好ましくは $1040^\circ\text{C}$ 以上にするのがよい。 $1000^\circ\text{C}$ 未満では、その後の圧延、鍛造において硫化物の伸展を抑制し、硫化物の平均幅を大きくすることが困難になる。鋼片の加熱温度はピレットが加熱炉を出た段階で測定される。前記鋼片加熱温度の制御に加えて、凝固時の冷却速度を遅くすること、溶鋼中の酸素量を多くすること、AlやSiなどの強力な脱酸元素を少なくすること等の方策を同時に行うことも、硫化物の平均幅の増大化効果をより期待することができる。もっとも、溶鋼中の酸素量が多すぎると、被削性に悪影響を及ぼす硬質酸化物を生成するようになるので、注意が必要である。

【0026】被削性の改善のためには、硫化物の平均幅のみならず、降伏比（降伏強度／引張強度）YRを特定の値以上にすることが重要であることが知見された。すなわち、伸線された鋼線材においては、YRを0.96以上とすることが必要である。0.96未満では、被削性の中で表面粗さだけでなく、寸法変化も大きくなり、寸法変化により規定される工具寿命が低下する。望ましくは、0.97以上とするのがよい。降伏比を高くすることにより、切り屑を生成するせん断域でのせん断変形のエネルギーが低下すると同時に切り屑のせん断が安定して起こるようになる。その結果、切削抵抗が減少し、工具摩耗が減少して寸法変化も良好になる。表面粗さは、上記に加えて切削の安定化により向上する。なお、本発明と同等の低炭素硫黄快削鋼（SAE、AISI規格）におけるYRは、通常、0.77～0.84程度である（JSSC、VOL. 8、NO. 75、1972、p55、表3-1）。

【0027】一方、伸線前の熱間圧延、熱間鍛造後の線材においては、YRを0.68以上とする。望ましくは、0.70以上とするのがよい。圧延・鍛造後に切削される場合の被削性を満足させるに0.68以上にする必要がある。また、熱間加工後に伸線する場合においても、この特性を満足しないと、通常の冷間引抜条件では、伸線後の線材のYRを0.96以上とすることが困難になる。引張強さの低い鋼では、降伏比が低くなる傾向があるので、上記YR値を達成するには、引張強さの

観点では440MPa以上とすることが好ましい。なお、本発明と同等の低炭素硫黄快削鋼(SAE、AIS I規格)における熱間圧延ままの鋼材のYRは、通常、0.50~0.60程度である(前記文献の表3-1)。

【0028】熱間圧延による線材の降伏比を制御するためには、仕上圧延条件、圧延後の冷却速度の制御が重要である。なお、熱間鍛造の場合も仕上鍛造条件、鍛造後の冷却速度の制御が重要であるが、これらの条件は熱間圧延の場合と同様なので、以下、熱間圧延の場合について詳細に説明する。

【0029】本発明では、仕上圧延温度を表面温度で700℃以上、800℃未満で行う。700℃未満では、2相域での圧延になり、圧延後の組織が不均一になり、結果として降伏比などの機械的性質が劣化ようになる。一方、800℃以上の圧延では微細組織が得られず、所定の降伏比が得られないようになる。本発明のように降伏比を熱間圧延、熱間鍛造による線材で0.68以上、伸線による線材で0.96以上をコンスタントに得るためには、組織を従来レベルに比してより一層微細化することが不可欠であり、そのためには、上記したように仕上圧延温度を鋼材の表面において700℃以上、800℃未満で行うことが必要である。かかる条件であれば、熱間圧延材、熱間鍛造材の引張り強度についても440MPa以上にすることができる。従来、仕上圧延温度と鋼片加熱温度は連動することが多かったが、本発明にかかる硫化物の平均幅および降伏比を得るには、両者を独立して制御することが必要である。すなわち、鋼片加熱温度は硫化物系介在物の平均幅を大きくするために高いことが望ましいが、仕上圧延温度は低くする必要

がある。【0030】なお、特開平1-224103号公報、特開平5-247585号公報、特開平5-331592号公報に記載されているように、従来、仕上圧延温度は800~1000℃、あるいは800~900℃が一般的であり、本発明に比して仕上圧延温度が高すぎる。特開平1-224103号公報には、鋼片の加熱温度よりも仕上圧延温度を低下させ、800~1000℃の範囲で圧延することで、圧延後の微視的組織を細粒で均一にし、降伏比を上昇させることの必要性が記載されている。しかし、実際の降伏比や引張強度は記載されておらず、本発明にかかる降伏比が得られないことが明らかである。

【0031】熱間圧延後の冷却速度について、本発明では熱間圧延した鋼線材をステルモラインで冷却する際に、ステルモラインに実質的に載置した直後から少なくとも500℃までの平均冷却速度 $V$ (℃/s)を鋼線材の直径を $D$ (mm)とすると、下記(1)式を満足する限界冷却速度 $V_{min}$ 以上で風冷する。「実質時に載置」とは、風冷設備がある最初の個所での載置を意味する。

ステルモコンベアにて冷却される場合の線材の冷却速度は、厳密には線材コイルの疎部と密部によって異なるが、これらの冷却速度の平均の冷却速度を意味する。

$$\log V_{min} = 1.13 (1 - \log D) \cdots (1)$$

【0032】ステルモラインでの冷却において、500℃までの平均冷却速度が問題であるのは、500℃未満では相変態、結晶粒の成長が生じ難くなり、被削性への影響が小さくなるので冷却速度の影響を無視できるからである。本発明者は、前記仕上圧延温度の下で、前記冷却速度が熱間圧延線材の組織に影響を与え、引いては被削性に影響を及ぼしているのではないかと考えて、種々の冷却条件を与えてその組織を観察した結果、500℃までの平均冷却速度 $V$ (℃/s)を上記(1)式を満足する限界冷却速度 $V_{min}$ 以上で風冷することにより降伏比を熱間圧延線材で0.68以上に、あるいはさらに伸線した伸線材で0.96以上確保できることを知見した。これは、上記のように冷却速度を速めることによって、圧延材の組織を均一微細化することができ、このような均一微細組織を得ることで降伏比が上昇するためである。

【0033】なお、低炭素硫黄系快削鋼線材の被削性に及ぼす熱間圧延、熱間鍛造後の冷却工程の影響について検討された例は少ない。特許2125814号(特公平7-11069号)公報には、縞状パーライトの制御が重要であるとし、圧延・鍛造後の冷却速度は遅い方が望ましいことが記載されているが、冷却速度が定量的に示されていないものの、冷却方法として炉冷あるいはステルモライン上で線材をカバーして徐冷する例が示されており、かなりの徐冷であることが伺える。例えば、実施例の一つである直径18mmのサンプルにおいても、前記(1)式による限界値0.51℃/sより遅い、0.4℃/s以下の遅い冷却速度であると予想される。また、特許2740982号公報には、500~700℃までを徐冷して、初析フェライトを析出させた後、急冷して初析フェライト中に固溶Cを残留させることで被削性を向上させることが示されている。しかし、オーステナイト化する熱処理を室温から再加熱した後でもよく、あるいは熱間加工後でもよい、というだけであり、本発明のように最終圧延温度(仕上圧延温度)は要件とされておらず、開示、示唆されていない。

【0034】伸線材の降伏比の制御には、上記の熱間圧延での仕上圧延温度、冷却速度のほか、熱間圧延後の冷間伸線加工率も影響する。伸線加工率は通常5~30%程度である。この範囲を外れると真円性や直線性の確保が困難になり、また機械的不可が過大になる等の問題があり、大幅な変更は難しい。このため、伸線材の素材となる熱間圧延線材を得る段階で、前記降伏比0.68を確保しておくことが必要である。これによって、前記通常の伸線加工率によって0.96以上の降伏比を確保することができる。

## 【0035】

【実施例】【実施例1】表1に示す種々の組成 (mass %) の鋼を実機炉で溶製し、その後、表2に示す種々圧延条件、ステルモアラインに実質的に載置されてから500℃までの平均冷却速度 (以下、単に平均冷却速度という。) にて熱間圧延線材を製造した。その後、一部の線材を除いて、さらに伸線加工を行った。この場合の伸線加工率、最終線径も同表に示した。

【0036】得られた線材に対し、硫化物の平均幅を先に述べて要領で測定した。また、引張試験 (JIS Z 2241) により機械的性質を測定した。また、下記の要領にて被削性試験を行った。図3に示すように、線材Wをその軸心回りに回転自在に自動旋盤に固定し、この線材Wに対してハイス工具 (SKH4) Bを垂直に送り込んでフォーミングした後、切削後の仕上げ面粗さを測定した。また、3000個切削後の寸法変化を測定した。また、熱間圧延ままの線材については、スケールを切削あるいはセンターレスグラインディングなどで除去してから被削性試験を実施した。フォーミングの条件は、切削速度92m/min、工具送り速度0.03mm/rev、切り込み1.0mmとした。

【0037】これらの測定結果を表3に示す。同表において、仕上げ面粗さ42μm未満、寸法変化20μm未満を被削性が優良であることの指標とし、これを満足する試料を発明例とした。また、本発明の降伏比の条件のみを満足した試料について、log d (d:伸線材の直径mm)、あるいはlog D (D:熱間圧延線材の直径mm)と硫化物平均幅μmとの関係を発明例、比較例との区分したグラフを図4に示す。図4中の破線は平均幅(μm)=2.8\*log d (D)の直線である。

【0038】表3および図4より、圧延材の降伏比が0.68以上の試料では、伸線後の線材の降伏比も0.96以上を達成しており、しかも硫化物の平均幅が2.8\*log d (D)以上のものは、表面粗さおよび寸法変化とも良好であり、被削性に優れることがわかる。試料No.12の鋼種Dは、強脱酸元素であるSiやAlが多く酸素量が少ないので、適切な硫化物が得られず、平均幅も基準より小さい。このため、被削性も低下している。

## 【0039】

【表1】

鋼種 No.	化 学 成 分 (mass%, 残部: 実質的にFe)								
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	その他
A	0.08	<0.005	1.10	0.08	0.32	<0.008	0.008	0.018	
B	0.07	<0.005	1.08	0.08	0.33	<0.008	0.006	0.017	Bi:0.12
C	0.09	<0.005	1.12	0.08	0.34	<0.008	0.008	0.018	B:0.0015
D	0.10	0.015	1.13	0.07	0.33	0.012	0.007	0.012	
E	0.08	<0.005	1.09	0.07	0.33	<0.008	0.006	0.021	Pb:0.18
F	0.07	<0.005	1.12	0.08	0.33	<0.008	0.008	0.020	Te:0.035

## 【0040】

【表2】

試料 No	鋼種 No	ピレット 加熱温度 ℃	仕上 圧延温度 ℃	平均 冷却速度 ℃/s	限界 冷却速度 ℃/s	圧延材 直径D mm	圧延 圧下率 %	伸線 加工率 %	伸線材 直径d mm
1	A	1005	756	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
2	A	1012	758	1.1	0.97	10.3	99.76	39	8.0
3	A	1063	782	1.6	1.06	9.5	99.80	29	8.0
* 4	A	<u>905</u>	748	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
* 5	A	1008	<u>865</u>	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
* 6	A	1009	756	<u>0.6</u>	1.06	9.5	99.80	29	8.0
7	A	1010	768	0.95	0.81	12.0	99.68	31	10.0
* 8	A	1003	784	<u>0.5</u>	0.81	12.0	99.68	31	10.0
9	B	1020	785	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
10	C	1005	756	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
11	A	1014	780	1.2	0.48	19.0	99.19	—	—
* 12	D	1015	791	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
* 13	A	<u>912</u>	779	0.97	0.81	12.0	99.68	31	10.0
* 14	A	<u>925</u>	782	1.2	0.48	19.0	99.19	—	—
15	E	1008	765	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
16	F	1021	768	1.3	1.06	9.5	99.80	29	8.0
* 17	A	<u>908</u>	779	1.6	1.38	7.5	99.87	32	6.2
18	A	1036	786	1.6	1.38	7.5	99.87	32	6.2
* 19	A	<u>912</u>	782	0.85	0.74	13.0	99.62	28	11.0
* 20	A	1009	756	<u>0.6</u>	1.06	9.5	99.80	—	—

(注) 試料Noに\*を付したものは比較条件であり、他は発明条件を満足する。

【0041】

30 【表3】



試料 No	2.8logd <2.8logD>	硫化物 平均幅 $\mu\text{m}$	圧延材			伸線材			ハイスフォーミング		備 考
			Y P MPa	T S MPa	Y R	Y P MPa	T S MPa	Y R	仕上面粗さ $\mu\text{m}$	寸法変化 mm	
1	2.53	2.96	311	450	0.69	616	635	0.97	40.3	0.015	発明例
2	2.53	2.89	303	445	0.68	645	658	0.98	39.7	0.016	"
3	2.53	3.65	316	458	0.69	623	642	0.97	35.2	0.012	"
4	2.53	<u>1.89</u>	320	457	0.70	613	639	0.96	49.7	0.025	比較例
5	2.53	2.68	284	<u>430</u>	<u>0.66</u>	584	628	<u>0.93</u>	52.6	0.024	"
6	2.53	2.78	276	<u>425</u>	<u>0.65</u>	588	625	<u>0.94</u>	48.5	0.028	"
7	2.80	3.2	321	465	0.69	629	642	0.98	38.6	0.014	発明例
8	2.80	3.47	282	<u>440</u>	<u>0.64</u>	591	635	<u>0.93</u>	49.3	0.028	比較例
9	2.53	2.85	311	450	0.69	625	644	0.97	34.8	0.011	発明例
10	2.53	2.68	327	467	0.70	638	658	0.97	41.0	0.015	"
11	<3.58>	4.02	310	456	0.68	—	—	—	41.1	0.015	"
12	2.53	<u>1.75?</u>	322	462	0.70	615	638	0.96	53.2	0.029	比較?
13	2.80	<u>2.25</u>	319	463	0.69	627	640	0.98	49.8	0.026	比較例
14	<3.58>	<u>3.34</u>	308	454	0.68	—	—	—	48.6	0.028	"
15	2.53	2.86	312	454	0.69	635	659	0.96	36.2	0.010	発明例
16	2.53	3.25	327	465	0.70	632	647	0.98	38.2	0.015	"
17	2.21	<u>1.82</u>	321	452	0.71	618	635	0.97	50.6	0.026	比較例
18	2.21	2.6	315	459	0.69	616	634	0.97	38.2	0.014	発明例
19	2.92	<u>2.7</u>	312	460	0.68	620	642	0.97	49.8	0.030	比較例
20	<2.74>	2.78	276	<u>425</u>	<u>0.65</u>	—	—	—	48.6	0.031	"

【0042】[実施例2] 表1に記載の鋼種Aを使用し、ピレット加熱温度1000～1025℃とし、仕上圧延温度750～800℃とし、圧延後、ステルモアラインでの平均冷却速度を表4に示すように種々変化させて、線径9.5mmの熱間圧延線材を得た。その後、伸線加工率を29%として伸線し、線径8.0mmの伸線材を得た。

【0043】得られた線材について、実施例1と同様、硫化物の平均幅を測定したところ2.7～3.1 $\mu\text{m}$ であり、 $\log d$  ( $d=8.0$ ) = 0.90より大きい値で

あった。また、機械的性質および被削性を調べた。これらの結果を表4に併せて示す。 $\log V_{\min} = 1.13$  ( $1 - \log D$ ) で求められる限界冷却速度は1.06℃/sである。

【0044】表4より、熱間圧延後のステルモアライン上での平均冷却速度を限界冷却速度以上で冷却することにより、所定の降伏比が得られ、良好な被削性が得られることが確認された。

【0045】

【表4】

試料 No	平均 冷却速度 ℃/s	圧延材			伸線材			ハイスフォーミング		備 考
		Y P MPa	T S MPa	Y R	Y P MPa	T S MPa	Y R	仕上面粗さ $\mu\text{m}$	寸法変化 mm	
1	<u>0.6</u>	276	<u>425</u>	<u>0.649</u>	588	625	<u>0.941</u>	48.5	0.028	比較例
2	<u>0.8</u>	295	<u>435</u>	<u>0.678</u>	611	658	<u>0.929</u>	36.5	0.025	"
3	1.1	303	445	0.681	645	658	0.980	39.7	0.016	発明例
4	1.3	311	450	0.691	616	635	0.970	40.3	0.015	"

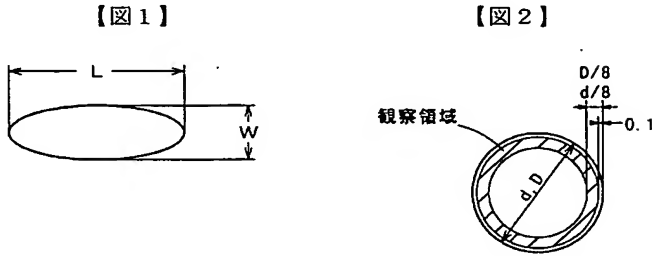
【0046】

50 【発明の効果】本発明の低炭素硫黄快削鋼線材は、所定

成分、所定降伏比の下で、硫化物系介在物の平均幅を線材の直径  $d$  (伸線材)、 $D$  (熱間圧延線材、熱間鍛造線材) とするとき  $2.8 * \log d$  ( $D$ ) 以上とするので、 $Pb$  などの特殊元素を用いない場合であっても、良好な被削性を得ることができる。また、本発明の製造方法によれば、本発明にかかる鋼線材を工業的に容易に製造することができる、生産性に優れる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】硫化物の形態を規定する寸法の測定要領説明図

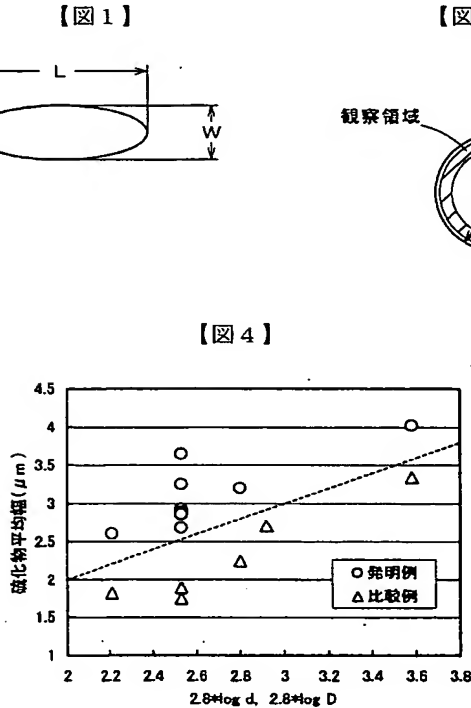


である。

【図 2】硫化物の観察領域を示す線材の横断面図である。

【図 3】実施例における被削性試験の切削要領説明図である。

【図 4】実施例における硫化物の平均幅および  $2.8 * \log d$  ( $D$ ) と、発明例・比較例 (被削性の優劣) との関係を示すグラフである。



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

C 2 2 C 38/60

C 2 2 C 38/60

(72)発明者 坂本 浩一

兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号  
株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 鹿磯 正人

兵庫県神戸市灘区灘浜東町 2 番地 株式会  
社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 染川 雅実

兵庫県神戸市灘区灘浜東町 2 番地 株式会  
社神戸製鋼所神戸製鉄所内

F ターム (参考) 4E002 AA07 AC12 AC14 BD07 BD08  
CB01

4K032 AA01 AA02 AA03 AA04 AA05  
AA08 AA16 AA21 AA26 AA27  
AA28 AA29 AA31 AA34 BA02  
CA02 CB02 CC02 CC03 CD01  
CD02 CG01

4K043 AA02 AB01 AB03 AB04 AB15  
AB25 AB26 AB27 BA01 BA03  
BA04 BB01